



# SIBRAGEC ELAGEC 2015

## São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

### MÉTODO INTEGRADO DE PROJETO E PRODUÇÃO PARA EMPRESAS ENGINEER-TO-ORDER COM APOIO DE BIM

**SHIGAKI, Jeferson Shin-Iti (1); FORMOSO, Carlos Torres (2)**

(1) e-mail: js\_shigaki@yahoo.com.br (2) UFRGS, (51) 3308-3518, e-mail: formoso@ufrgs.br.

#### RESUMO

No setor de pré-fabricados, empresas caracterizadas pelo sistema produtivo engineer-to-order (ETO) têm adotado uma estrutura em que suas atividades são interligadas verticalmente através das distintas etapas na cadeia interna de valor e horizontalmente entre disciplinas do empreendimento. No entanto, a falta de integração faz com que informações nem sempre estejam devidamente disponíveis. Estudos empíricos realizados em uma empresa de estruturas metálicas identificaram oportunidades nas interfaces entre projeto-ppc-fabricação-logística-montagem. O objetivo deste trabalho é propor um método de desenvolvimento integrado entre setores apoiados por BIM.

**Palavras-chave:** Engineer-to-order. BIM. Integração vertical. Integração produto-processo.

#### ABSTRACT

*In prefabrication, engineer-to-order companies have adopted a structure in which activities are vertically interlinked along the internal value chain and horizontally among the project disciplines. However, poor integration implies that information is not always properly available. The empirical studies developed with a steel fabricator identified opportunities in the interfaces between design-ppc-fabrication-logistics-assembly. The objective is to devise an integrated method between these sectors supported by BIM.*

**Key-words:** Engineer-to-order. BIM. Vertical integration. Product-process integration.

#### 1 INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

Quando comparado a outras indústrias, principalmente com algumas das manufaturas tradicionais, a construção apresenta peculiaridades que influenciam as características de seus produtos e modos de produção como: (1) produção local; (2) produção única (*one-of-a-kind*); (3) organizações temporárias (Koskela, 2000). No contexto de uma indústria altamente especializada e fragmentada, os empreendimentos têm sido desenvolvidos por uma coalização de empresas com o cliente ou seu representante. Segundo Vrijhoef e Koskela (2005) estas coalizações são entendidas como um número de empresas independentes que se unem pelo propósito de realizar um empreendimento específico.

A fim de reduzir os impactos destas peculiaridades, soluções alternativas têm sido adotadas como: design modularizado, edifícios pré-projetados, e manufatura externa (Koskela, 2000). Apesar das suas vantagens, estas abordagens implicam na necessidade de alinhar estratégias entre seus intervenientes, que estão acostumados a trabalhar sob seus próprios processos de negócio e *workflow*. Em muitos casos, esta coordenação pode ser um grande desafio, e o time temporário do empreendimento não consegue entregar os benefícios esperados pelos seus clientes.

Neste aspecto, métodos de aprovisionamento (*procurement*) desempenham um papel importante na configuração destes times temporários para a entrega dos empreendimentos. Alternativamente, algumas empresas de engenharia e construção têm combinado diferentes disciplinas e expertises sob a configuração de empresas de serviço total (Hoover, 2013). Na manufatura, a integração vertical tem sido adotada com a intenção de facilitar as empresas a obterem controle sobre todo o processo e posicioná-las mais próximas ao usuário final, através da fusão de negócios em diferentes estágios da produção. Na construção, o setor de pré-fabricados tem incorporado esta configuração vertical para empresas que projetam, fabricam e montam seus produtos. Elas apresentam algumas características em comum com a manufatura tradicional ao mesmo tempo em que lidam com processos típicos da construção.

A natureza *one-of-a-kind* de boa parte dos empreendimentos e produtos da construção pode ser relacionar, em alguns casos, com a estratégia de produção caracterizada por *engineer-to-order* (ETO). Assim, oferece produtos padronizados com possibilidade de modificações e customizações (Gosling e Naim, 2009) a fim de atender requisitos individuais de seus clientes, tendo o Ponto de Desacoplamento da Ordem do Cliente a fase de projeto. Com exceção do menor impacto para soluções pré-projetadas do tipo *make-to-order* (MTO), também usadas em pré-fabricados, as interfaces de comunicação e troca de informação entre os times de projeto, manufatura, logística e obra se tornam críticas diante da complexidade do sistema e necessidade de alinhamento de processos.

Estratégias de trabalho colaborativo apoiados por Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) tem sido um importante aspecto para o gerenciamento do ciclo de vida do produto ao longo dos últimos anos, no sentido de tratar problemas relacionados à natureza fragmentada da indústria. Em especial, o conceito de *Building Information Modeling* (BIM) tem sido adotado para abordar a troca alinhada de informação entre os intervenientes ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Eastman et al. (2011) relatam que fabricantes ETO são possivelmente um dos maiores beneficiados na utilização de BIM no processo construtivo. Por natureza, os componentes de soluções ETO demandam engenharia sofisticada e colaboração entre seus projetistas com o objetivo de alcançar a interface adequada entre os sistemas.

Este estudo está sendo desenvolvido em uma empresa de estruturas metálicas pré-fabricadas ETO, que também é caracterizada por esta configuração que incorpora diferentes setores da cadeia de valor. Seus produtos, embora ligadas a indústria metal-mecânica, se relacionam diretamente com o mercado e fornecedores da construção. A empresa também adota um conjunto de TICs no apoio aos processos de projeto, produção e gestão da informação, incluindo ferramentas CAE, CAD/BIM, CAM e ERP.

Neste caso, é necessário considerar o impacto da cadeia de suprimento sob duas perspectivas simultaneamente: (1) em relação ao empreendimento, caracterizado pela formação de times temporários de fornecedores especializados; (2) em nível da organização, em que a cadeia interna de valor precisa ter seus processos alinhados entre suas unidades funcionais ou departamentos. Desta forma, depara-se com um cenário configurado por: (1) uma composição horizontal formada por times multidisciplinares, fortemente influenciados pelos métodos de *procurement* e contrato, e que poderiam adotar métodos de entrega integrada como LPDS, IPD, IDDS; e (2) composição vertical da própria empresa, formada pelos vários departamentos ou funções internas. Neste caso, identifica-se a falta um método ou abordagem para desenvolver e entregar projetos integrados com o apoio de BIM, que sejam orientadas para empresas ETO verticalmente integradas no setor da construção. Esta “nova” abordagem, não exclui os métodos de

entrega integrada existentes. De fato, essas empresas precisam de ambas ao mesmo tempo: uma em nível do empreendimento e outra em nível da organização.

Dentro do escopo desta pesquisa, procura-se responder: Como o uso de BIM pode contribuir para a integração vertical de processos do ciclo de vida (especialmente entre as fases de projeto e produção) de produtos pré-fabricados em empresas ETO? O objetivo é propor um método integrado de projeto e produção para empresas ETO de pré-fabricados com o apoio de BIM orientado para a integração vertical das unidades da cadeia interna de valor. Serão observadas estratégias em troca colaborativa de informação entre departamentos interdependentes destas empresas.

## **2 MÉTODO DA PESQUISA**

A estratégia de pesquisa adotada é a **Design Science Research**, também encontrada como Pesquisa Construtiva. Trata-se de uma abordagem sócio técnica, prescritiva por natureza, e focada no paradigma de solucionar problemas encontrados no mundo real. Lukka (2003) a define como um procedimento de pesquisa para produzir construções inovadoras, com o intuito de solucionar problemas em face ao mundo real, o que significa fazer contribuições para a teoria da disciplina na qual é aplicada. Os elementos-chave para esta abordagem são: relevância prática do problema e solução, conexão com teorias anteriores, funcionalidade prática da solução, e contribuição teórica do estudo. Visando a elaboração de artefatos, os tipos de saídas indicadas por March e Smith (1995) são: constructos representativos, modelos, métodos, e instâncias.

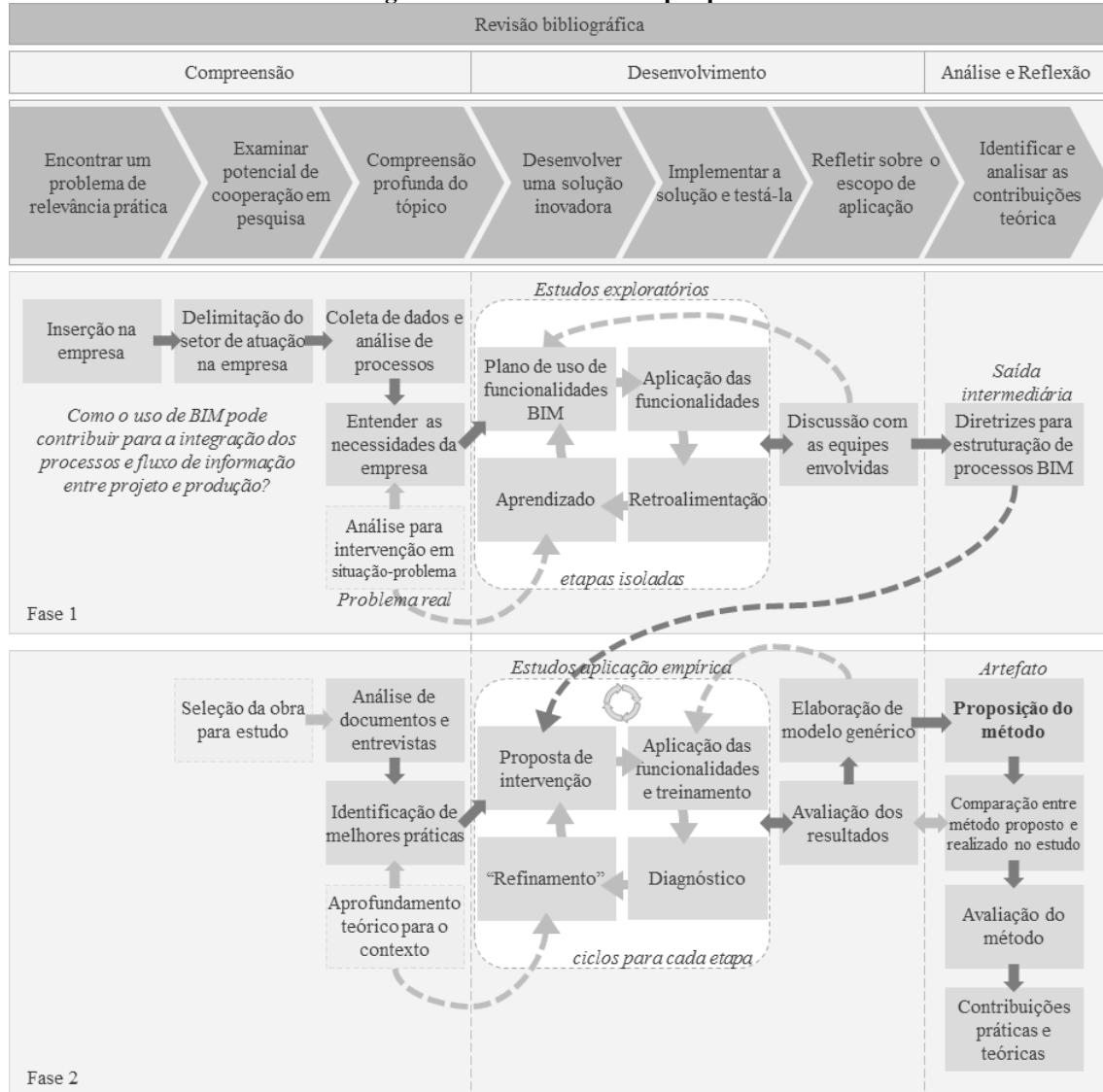
O problema real está relacionado aos desafios de integrar processos de projeto e produção e de alinhar o fluxo de informação entre os times envolvidos. A pesquisa está posicionada para o público-alvo empresas ETO de pré-fabricados. O **artefato** a ser produzido é um **método** para a integração de práticas no desenvolvimento e entrega entre os setores de projeto e produção destas empresas apoiado por BIM. A pesquisa está estruturada segundo os passos propostos por Lukka (2003), e passam por duas grandes fases de cunho empírico: (1) estudos exploratórios para definição dos constructos do método e estratégias de implementação; e (2) desenvolvimento aplicado em um empreendimento chave e consolidação. Nesta segunda, a aplicação nas diferentes etapas de projeto e produção fez com que se gerassem rodadas de aplicação, sendo replicados com cada time/etapa do processo de um empreendimento selecionado.

A empresa é uma das maiores fabricantes de estruturas metálicas do país, possui plantas em três cidades, aproximadamente 200 contratos simultâneos, e atuam nos segmentos: edifícios industriais, multi-pavimentos, infraestrutura e galpões padronizados rápidos, além de prestar serviços técnicos. Os três primeiros são conduzidos como ETO, enquanto o quarto, MTO. Em função das características dos produtos desenvolvidos, cada unidade de negócio atua com alguns processos específicos, assim como utilizam softwares e equipamentos diferentes. Quanto à configuração das unidades, são compostas por times que atendem as várias etapas do processo de desenvolvimento de produto: comercial, engenharia-orçamento, planejamento, projeto-aprovação, projeto-detalhamento, estrutura do produto, manufatura, logística, montagem. Estes times, em grande parte, estão geograficamente distantes.

A empresa tem implementado Lean há alguns anos, e parcerias com a Universidade tem sido conduzida neste sentido. O escopo inicial da pesquisa contemplava o uso de BIM como uma ferramenta de apoio à gestão da produção. Até este ponto, as pesquisas do

grupo da Universidade haviam sido desenvolvidas na unidade de edifícios industriais. No entanto, os pesquisadores foram informados sobre o uso de BIM pelo time de engenharia da unidade de edifícios multi-pavimentos. A partir de então o escopo e objetivos foram revisados em função das novas oportunidades nesta área.

**Figura 1: Delineamento da pesquisa**



### 3 RESULTADOS PARCIAIS DA PESQUISA

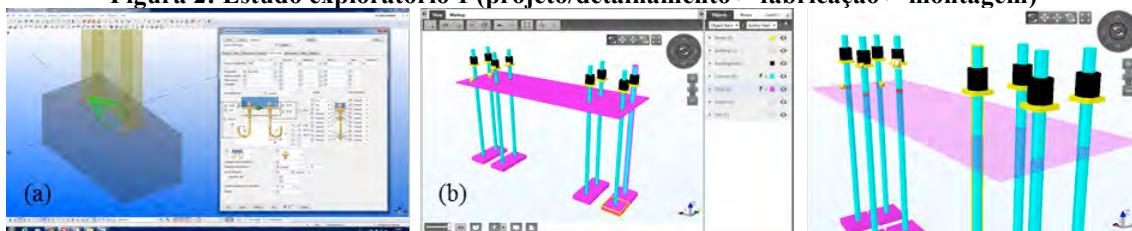
#### Estudos exploratórios: identificação de oportunidades e definição de diretrizes

O primeiro estudo exploratório foi dado por acompanhamento externo da execução da estrutura de uma fábrica moveleira. Os principais problemas eram: troca de informação imprecisa, falta de compreensão dos documentos de projeto e comunicação falha entre os times de projeto-fabricação-montagem. Uma evidência prática do problema foi: o tamanho do furo na chapa de base das colunas não era suficiente para receber os parafusos. Eles foram especificados exatamente com o mesmo diâmetro e sem uma folga mínima. Assim, a fabricação das chapas foi realizada de acordo com o projeto (as máquinas CNC apenas realizaram a furação conforme numericamente programada). O problema só foi identificado depois que os componentes chegaram ao canteiro de obras. Como contra medida, as furações de alargamento foram realizadas na obra implicando

no atraso do cronograma, custo adicional pelo aluguel não previsto de equipamentos e horas trabalho. Além disso, outras tarefas interdependentes não puderam ser executadas, afetando não somente o cronograma da montagem, como todo a logística e operações de canteiro. Acarretou também no *feedback* para as equipes de projeto e nova programação da manufatura. O mesmo empreendimento ainda viria a sofrer com problemas de causa similar ao ocorrido com as chapas de base em alguns contraventos.

Como medida alternativa, foram explorados outros softwares BIM de projeto e ver como se comportavam em relação ao modo de especificação destes aspectos. Um dos pontos observados é que na modelagem e especificação (a), são indicados campos que atuam como “*poka-yokes*” de projeto, evitando que especificações importantes sejam esquecidas. Em outro empreendimento, de características semelhantes, testou-se ferramentas de *clash detection* (b), com fins de análise de tolerância, permitindo identificar ausências ou dimensões insuficientes de folgas, ou ainda aspectos de conflito espacial de componentes além de dificuldades de acesso/construtibilidade.

**Figura 2: Estudo exploratório 1 (projeto/detalhamento > fabricação > montagem)**



Um segundo estudo exploratório foi realizado durante as fases iniciais de projeto de um hangar. Empreendimento-chave para a empresa, seu projeto se tornava complexo pela grande quantidade de componentes, dimensão da estrutura, local de instalação e exigência do cliente. Neste caso, logo no início do processo foi realizado uma simulação 4D com o modelo conceitual. A solicitação foi feita pela equipe de orçamento, e tinha como objetivo analisar possíveis sequências de montagem e dimensionamento das equipes em combinação com a linha de balanço. Também visava à identificação de problemas críticos e auxílio na tomada de decisão relativa à definição de áreas de estoque e pré-montagem em solo, seleção de equipamentos, além da comunicação com o cliente.

**Figura 3: Estudo exploratório 2 (projeto/orçamento > planejamento > montagem)**



Em comum, estes estudos realçaram a necessidade de interação entre os departamentos, cujas entregas afetam fortemente o trabalho das equipes a jusante no processo. Também ficou evidente a necessidade de fornecer requisitos de informações às equipes a montante, de modo que o modelo contemplasse dados necessários para a utilização de funcionalidades BIM não sistematicamente realizadas até o momento.

### **Estudo empírico: desenvolvimento e implementação da primeira versão**

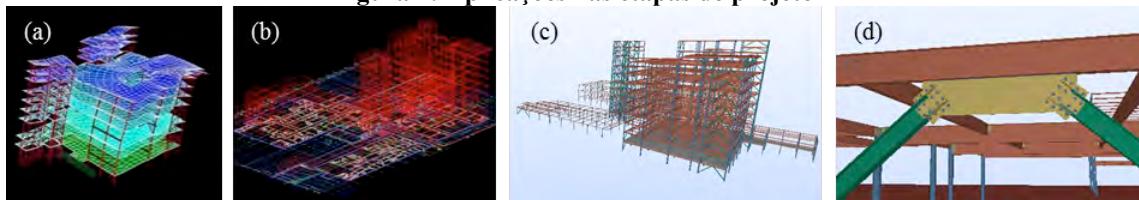
Nesta fase da pesquisa, foi selecionado um empreendimento da unidade multi-pavimentos (com implementação parcial de BIM nas fases de projeto) na qual fosse possível acompanhar o máximo de etapas do processo de desenvolvimento de produto. O empreendimento em questão é um hospital, e a empresa é responsável apenas pela estrutura metálica, atuando como fornecedor subcontratado. Como objetivo a nível

operacional, visava-se avaliar o impacto da implementação estendida de BIM para as fases a jusante, como manufatura e planejamento da produção, através da reutilização da informação semântica disponibilizadas nos modelos gerados pelo time de projeto. Como estratégia produtiva, a empresa secciona o empreendimento em etapas com o intuito de diminuir o tamanho dos pacotes de trabalho. Com isso, foi possível avaliar o ciclo de desenvolvimento da primeira etapa, mesmo sem que a obra esteja concluída.

Durante a etapa de projeto, foi observado o fluxo de informação entre os times internos e a maneira que o modelo era abastecido com informação. No processo atual, após as negociações do time comercial e gestão de contratos, a engenharia recebe os projetos do cliente, seja arquitetônico ou pré-lançamento estrutural. Então é realizado um novo lançamento em software CAE para análise estrutural (4a), e libera modelo esquemático para orçamento e planejamento macro. Este modelo é encaminhado para o time de projeto/modelagem, que se baseia em informações do arquitetônico e análise estrutural para lançar o modelo de aprovação (4b). No momento, é utilizado o formato de arquivo CIS/2 (CIMSteel Integration Standards) como extensão para interoperabilidade entre software CAE e BIM de estrutura metálica. Como saída, são gerados os documentos para aprovação do cliente, revisão do cronograma, podendo também ser usado externamente para coordenação geométrica (4c).

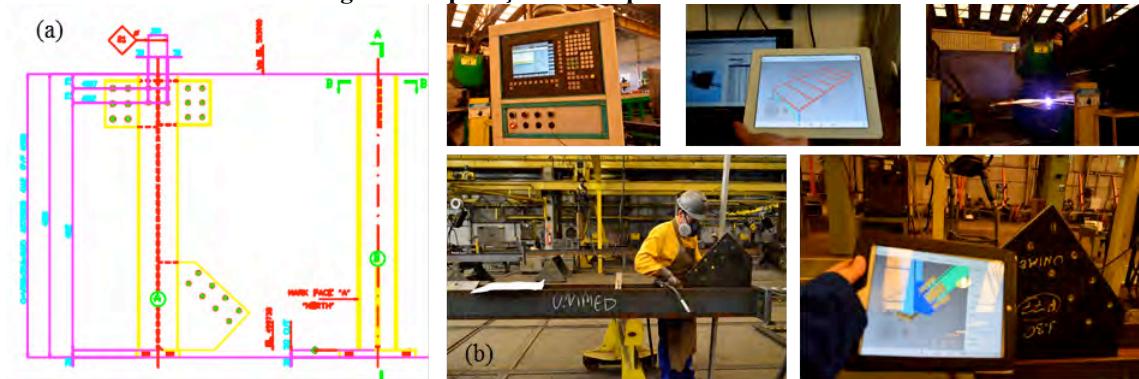
Como intervenção, foi proposta a aplicação das funcionalidades BIM não usadas no processo atual como *rule checking* e análise de tolerância usando ferramentas de *clash detection*. Os testes permitiram identificar especificações equivocada de componentes (ex. coluna de concreto como sendo estaca) além de conflitos espaciais entre componentes, principalmente com os contraventos. Neste momento foi discutida a necessidade de padronizar internamente os níveis de desenvolvimento (LOD) de saída de cada etapa do processo de projeto (correspondentes às entregas). Uma vez aprovado pelo cliente, o time de projeto segue com o detalhamento em nível de fabricação (d).

**Figura 4: Aplicações nas etapas de projeto**



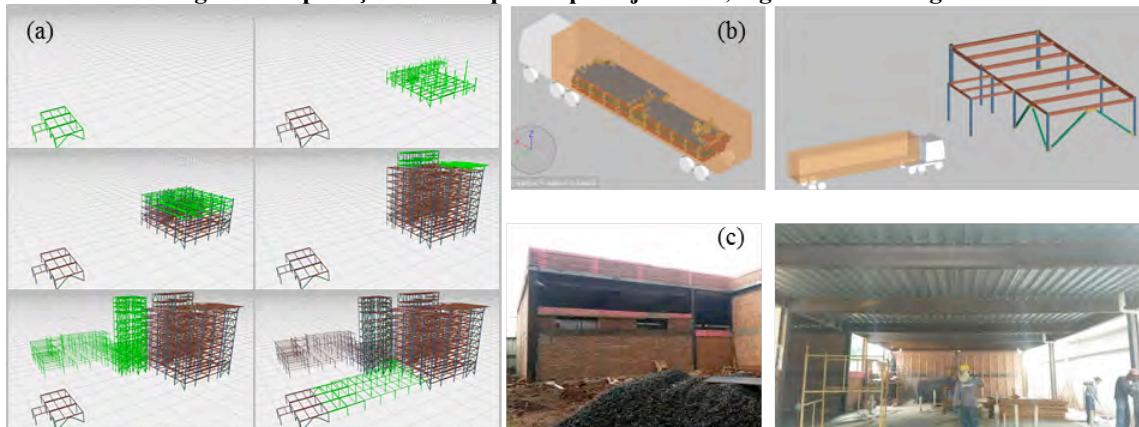
Para as etapas posteriores ao detalhamento do modelo, embora as atividades utilizassem informações derivadas do modelo, elas não eram pensadas sistematicamente como parte de processos BIM. Como saídas eram extraídos os dados para abastecer o sistema ERP, os códigos numéricos para a programação das máquinas CNC pelos times de PCP da fábrica, e desenhos CAD (5a) de conferência de fabricação. Estes desenhos gerados automaticamente pelo software são cotados e sem escala, e tem como objetivo principal auxiliar a conferencia de posição e quantidade de cortes, furos e soldas, ainda no chão de fábrica. Embora elas enfatizem a informação principal, preservam dificuldades de interpretação pela equipe operacional, que se beneficiaria da informação gráfica tridimensional disponibilizada pelos modelos BIM já prontos. Com informações inteligentes associadas, também foram utilizados os códigos dos componentes para agrupar os perfis e acessórios derivados de máquinas separadas (5b). Apesar do teste com *tablets*, foi optado pelo uso de computadores desktop em função da coordenação motora pesada dos trabalhadores em operação e uso das luvas de segurança.

**Figura 5: Aplicações na etapa de manufatura**



Em paralelo, foi proposta a utilização nas atividades de planejamento, logística e montagem, até então realizadas sem BIM. Com base em arquivos IFC (Industry Foundation Classes) do modelo, foram realizadas simulações 4D com as etapas previstas em cronograma (6a), com base em experiências recentemente testadas na empresa. Para as próximas fases da pesquisa, espera-se que sejam realizadas simulações específicas das etapas, com o modelo atualizado e incorporando aspectos do projeto do sistema de produção (PSP) como áreas de circulação, armazenamento de materiais, equipamentos e outras circunstâncias críticas do canteiro. Além disso, foi explorado o potencial de modelar os planos de carga (6b), com base em um método (em desenvolvimento por outra pesquisa) que considera a entrega de sub-etapas completas da obra, distribuição por peso e dimensão das peças ajustados ao veículo escolhido. Deverá implicar na otimização de tempo e melhora na segurança das operações de içamento pela definição dos lastros, facilitar a destinação de peças no descarregamento, além proporcionar oportunidade para que os times de PCP fábrica, logística e montagem dialoguem na definição destes planos. Finalmente, este estudo pretende utilizar BIM nas fases de montagem no canteiro.

**Figura 6: Aplicações nas etapas de planejamento, logística e montagem**



Apesar do amplo potencial já disponível para esta etapa de obra, as primeiras implementações deverão ser relativas à disponibilização de painéis visuais com screenshots da sequência de montagem e simulações 4D para o PCP da obra, visando estudar operações críticas por condições do canteiro ou interferências com outros fornecedores; visualização do modelo pelas equipes de montagem in-loco; e atualização do status de conclusões de etapas para controle de progresso do empreendimento em relação a produção da estrutura metálica. Os demais usos e funcionalidades deverão ser analisados junto à empresa para atender necessidades específicas.

#### **4 IMPLICAÇÕES DA PESQUISA**

Tendo em vista a elaboração de um método integrado, as atividades realizadas até o momento permitiram identificar os fluxos de informação existentes entre os times da cadeia interna de valor, bem como foram testadas aplicações de funcionalidades BIM não usadas sistematicamente no processo atual. A forte interdependência entre os times faz com que seja desejável a estruturação de um canal principal de dados, na qual os times extraem e abastecem ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto. Também fica evidente a necessidade de estabelecer estratégias de colaboração devido à alta variabilidade entre os empreendimentos e a natureza complexa dos produtos ETO, de modo a exigir um método que seja ao mesmo tempo suficientemente estruturado, flexível e que aproveite o conhecimento tácito dos intervenientes. Para as próximas etapas, deve ser realizada uma nova rodada de aplicação para consolidar o método (primeira versão a ser apresentada no evento), quando o conteúdo e as relações entre as informações referentes aos times da cadeia de valor deverão ser delineados, visando inicialmente potencializar a comunicação entre os participantes com reaproveitamento da informação digital do produto, para que em médio prazo, a organização possa estabelecer uma gestão do conhecimento mais efetiva. Espera-se que o método possa ser adaptado pelas empresas ETO conforme as características de seus produtos, tecnologias adotadas e estrutura organizacional da cadeia interna de valor e seja aplicado em combinação dos os métodos de entrega integrada existentes. Serão envolvidos intervenientes das esferas estratégicas, gerenciais e operacionais, sendo os principais beneficiados: aqueles a jusante no processo e as equipes funcionais com interfaces complexas com outras equipes (dentro e fora das fronteiras da empresa). Serão sugeridos artifícios facilitadores de colaboração nas interfaces até que as relações amadureçam e proporcionem condições de desenvolvimento integrado, com acumulação de experiências e consolidação de melhores práticas.

#### **REFERÊNCIAS**

- EASTMAN, C.M.; TEICHOLZ, P.; SACKS; R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. John Wiley and Sons, Inc., 2008.
- GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**. v. 122 (2), p. 741-754, 2009.
- HOOVER, S. **Beyond Vertical Integration: The Re-engineering of the design and construction industry**. FMI White Paper, 2013.
- KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.
- LUKKA, K. **The constructive research**. In: Case study research in logistics (edited by Ojala, L.; Hilmola, O-P). Series B1, p. 83-101. Turku School of Economics and Business Administration, 2003.
- MARCH, S.T.; SMITH, G.F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**. v. 15 (4), p.251-266, 1995.
- VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. **Revisiting the three peculiarities of production in construction**. Proceedings 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction – IGLC 13 Sydney, July 2005.